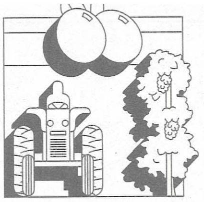


農產加工

反應曲面法設計在尋求食品加工最適條件上之應用簡介

◎鳳山熱帶園藝試驗分所　王子慶

在實驗設計上，當存在一個以上的自變數會對於一個因變數發生影響時，要尋求最適條件的一般作法是，先針對一個自變數變動而固定其他的自變數，如此，可求得此一自變數之最適條件，之後再固定此一條件，逐一求得其他自變數的最適條件。但是這個方法可能存在有如下之缺點：1.耗費時日、虛擲金錢、浪費精力；2.忽視了各個自變數彼此之間的影響；3.在複因子試驗中不足以獲得真正的最適條件；4.無法建立各變數間之關係式。

反應曲面法（Response Surface Methodology,RSM）乃是用來解決多個自變數對某一個變數影響的一種實驗設計。RSM 主要是用於尋找最適條件，如食品品質、製造率、貯藏壽命、配方及官能品評等之最適操作條件等，RSM 可以完全改正上述試驗設計之缺點。目前很多知名大公司如Foremost Foods, General Foods, Du Pont 等均已採用RSM 作為其研究最適化問題的方法。

反應曲面法

反應曲面法意義，即是將數據量化而建構一個可以描述每一個參與探討的因子與反應變數之間存在關係的實驗模式，如果以方程式來表示則為：

$$Y_j = \phi(X_{1j} + X_{2j} + \ldots + X_{kj}) + c_j$$

Y=反應變數值

j=1，2，………，n，複因子試驗中 n 個觀察值

X_{ij}=第 i 個因子的第j個觀察值

e_j=第j個觀察值的殘留誤差

ϕ函數即為反應曲面

依據學者Giovanni 將反應曲面法實驗設計步驟分為四個階段：

（1）確定影響問題的因子（Factor）：先鑑定出對產品具關鍵影響的因子，如此才愈能夠解釋產品變異的因子。

（2）選擇各個因子適當的層階（Level）：層階選擇之恰當與否，會直接影響試驗結果，倘層階範圍過寬，則無法以RSM清楚的界定出最適化狀

態（Optimum）。

（3）確定決定品質的測量方法及進行實驗設計：前者如感官品評、物理及化學分析數據等；後者常用的方法則有複因子設計（Factorial design）及中心旋轉組合設計（Central composite rotatable design）等。

（4）資料分析：以現有電腦統計程式如SAS、BMDP等，可以計算二次複迴歸方程式或線性方程。

在食品加工上之應用實例

現在以甘蔗汁製造低聚果糖（註一）為例，簡介RSM 應用情形。低聚果糖（Fructooligosaccharides）之一般生產方式多用果糖移轉酵素（Fructosyltransferase）作用於蔗糖而得，其生理功能如下：

1.不易為人體吸收、代謝。

2.不會造成齲齒。

3.減少便秘。

4.減少小腸對脂質之吸收。

5.有益Bifidobacteria菌增殖，抑制腐敗菌生長。

6.可取代蔗糖，適合肥胖、糖尿病患者食用。

現在依照RSM 實驗設計之步驟，可得到下列數據：

(1)因子與階層：分成三因子五層階

因子（Factor）	層階（Level）
果糖移轉酵素濃度X_1（%）	0.5、0.1、0.01、0.001、0.0001
果糖移轉酵素作用溫度X_2（℃）	40、45、50、55、60
果糖移轉酵素反應時間X_3（hr）	2、4、8、16、24、32、40

(2)中心混成設計數目：$2^3+2\times3+1=15$再加上中心點重複以用來估算機差（error）的五次，則共為二十組實驗單位。並以總低聚果糖量多寡作為測量指標。

(3)資料分析：以SAS軟體分析得最適操作條件為：X_1=0.122%，X_2=48℃，X_3= 27.8hr。

(4)實驗驗證：以此條件下進行實驗，所得總低聚果糖量為6.45%，與以RSM所得估計值6.16%接近，較諸未使用RSM前之製造條件（X_1=0.1%，X_2=50℃，X_3=24hr），其總低聚量果糖亦由原來的5.96%提升至6.45%，由此實例可知RSM適用於此研究，可藉以改善現有操作條件。

現在再以紅藻膠高壓凝膠作用（註二）為例，說明RSM 的應用情形。由於熱加工常會造成食品風味損失、營養素破壞或異物、異味、異色之生成，利用高壓使能達到與使用熱相同之效果的研究，是近來食品界研究重點之一，而紅藻膠（Carrageenan）是*Chondrus crispus*、*Gigartina stellata* 等紅藻類之萃取物，具有黏稠、成膠等特性，廣泛應用於布丁、蛋糕及甜點等食品上，現在依照RSM 實驗設計之步驟，可得下列數據：

(1)因子與層階：分成三因子三層階

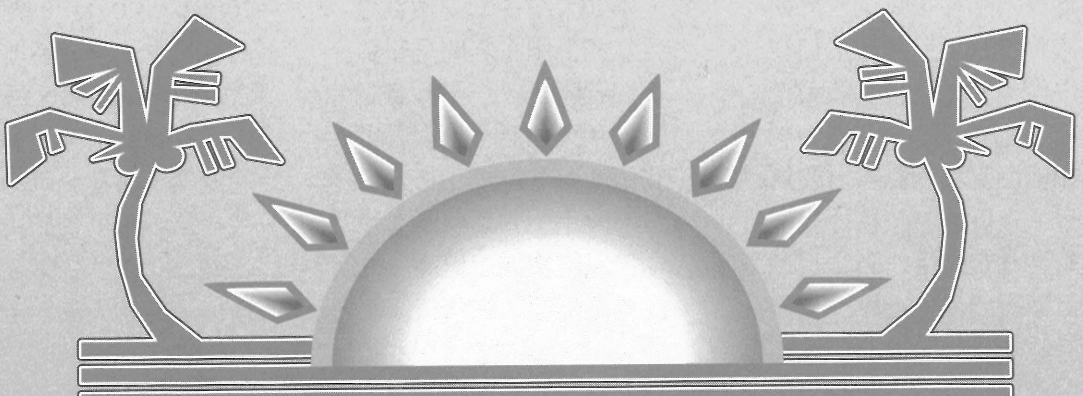
因　　子（Factor）	層　　階（Level）
壓　　力 X_1（atm）	500、2500、4500
溫　　度 X_2（℃）	36、43、50
紅藻膠濃度 X_3（%,w/v）	1.00、1.25、1.50

(2)資料分析：以SAS軟體分析得最適操作條件為：X_1=3300atm，X_2=45℃，X_3=1.0%。

(3)實驗驗證：以此條件下進行實驗，所得紅藻膠官能品評和凝膠強度實驗平均值（分別為6.61及45.40g）與以RSM所得估計值（分別為6.80及45.47g）接近，由此實例可知RSM 適用於此研究，可藉以模擬操作條件。

結論

反應曲面法實驗設計不僅可同時處理數個自變數，並以數學函數之方法表示，更可藉由圖形描述而瞭解變數對產物之影響及變數間交互影響之效果，不但省時、省力、省錢、省工，也更具備尋求最適條件之能力。總的來說，RSM 是最適化實驗設計的一種，可以最少實驗次數而獲得較多有意義資料，得到最適操作條件，加上與最近蓬勃發展的電腦軟體相結合，不但發揮了想像空間，也開拓了對產品的創造力，這也正是RSM 試驗設計的主要優點。

（註一）、溫銘嘉、張海豐、陳慧勇、楊繼宸、陳幼瑩、王偉杰．1993.以甘蔗汁製造機能性低聚果糖及其在混合果汁飲料上之應用.中國園藝39(1)：42-58.

（註二）、曾政鴻、金安兒．1994.利用反應曲面法對紅藻膠高壓凝膠作用的探討.中國農業化學會誌32(5)：543-552.